



TITLE:

# ディジタル交換機制御系のトラヒック問題(待ち行列理論とその周辺)

AUTHOR(S):

戸田, 彰

---

CITATION:

戸田, 彰. ディジタル交換機制御系のトラヒック問題(待ち行列理論とその周辺). 数理解析研究所講究録 1985, 564: 59-73

ISSUE DATE:

1985-06

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/99087>

RIGHT:

ディジタル交換機制御系のトラヒック問題

NTT 武蔵野電気通信研究所 戸田 彰 (Akira Toda)

1. まえがき

情報化社会の進展に伴い、現在の電話を主体とした通信以外に、データ通信、ファクシミリ通信等の新しい通信サービスに対する要求が益々高度化・多様化する傾向にある。このような要求を満たすため、高度情報通信システム (INS: Information Network System) の形成に向けて様々な技術開発が積極的に推進されている。この INS の基盤を築く上で重要な役割を担っているのが、電話網のディジタル化である。その一環として、進展の著しい VLSI 技術を駆使し、規模に応じた経済的なシステム構成の容易性、多様な機能追加に対する融通性及び維持管理の容易性を備えた機能分散・負荷分散形ディジタル交換機が開発され、運用されている [(1), (2)]。機能分散・負荷分散形ディジタル交換機には、D10 に代表されるアナログ交換機に加えて新たなトラヒック問題があり、待ち行列理論等の研究をしているトラヒック研究者にとって興味深いものがある。これらの問題の所在について、大学で研究されている人々が把握するのは難しく、新しい交換方式、通信処理方式に関するトラヒック問題の情報を得たいと

いう要望があることを耳にする。

本稿は、この要求に少しでも応えるべく、NTTで開発したD70デジタル交換機の呼処理の実行管理とトラヒック問題の概要を紹介したものである。交換機の構成は、加入者相互を接続する通話路系、その制御を行う制御系の他、信号処理系及び保守運用系の4つに大別される。本稿では、待ち行列理論からみて特に興味深い制御系に着目してトラヒック問題を紹介する。

## 2. 交換機の機能

交換機の機能を知る上で最も基礎的で、かつ重要な、接続動作について図1を使用して説明する。接続動作の流れに従って説明すると、

①利用者が受話器を上げると、発呼したことを検出し、発信音の送出により応答してダイヤル可能な旨通知する（発呼検出、応答）。

②発信電話機から送られてくる相手利用者番号を受信する（選択信号受信）。受信した番号を解釈し（番号翻訳）、着信電話機又は他交換機への出回線を選択し（出線選択）、発信電話機と出回線間の空き経路を選択する（リンク選択）。もし、着信電話機、出回線又は交換機内の経路がすべて使用

中の場合は、接続できないことを話中音により通知する（話中信号送出）。

③ 接続できる場合、着信電話機が発信電話機と同じ交換機に収容されているときは、直ちに着信電話機に呼出信号を送る（呼出信号送出）。着信電話機が他の交換機に収容されている場合には相手利用者番号をその交換機に送出する。番号を受けた交換機は、②以下の動作を行う。

④ 相手利用者が応答すれば、通話路を完成させ通話できるようにする（応答検出、通話路閉成）。

⑤ 通話が終了すれば発信電話機又は着信電話機からの終話信号により通話路を開放する（終話検出、通話路復旧）。

### 3. 呼処理実行管理の概要

交換機では、図1で述べた呼の接続処理を限られた台数のプロセッサで同時に多数の呼について行っている。このため、1つ1つの呼の接続に必要な処理を多数の仕事に細分し、この細分化された仕事を実行の単位として、多数の呼の接続を並行して進める多重処理方式が採用されている。

細分化された仕事は、その内容に応じて優先レベルが定められている。又、ダイヤル数字等の信号の送受信のように一定時間内に必ず行わなければならない仕事は周期的に実行さ

れるよう管理され、高い優先レベルが与えられている。以下、処理のレベル分けと周期の管理方法について述べる。

#### (1) 処理のレベル分け

図2は、処理のレベル分けを示したものであり、Fレベル、クロックレベル及びベースレベルの3つに大別される。Fレベルは、障害時にのみ実行される処理である。一定時間内に必ず行わなければならない仕事は、周期的に行われるクロックレベルで行われる。

クロックレベルで行われる仕事は、その緊急度に応じて、さらにH(High)レベルとL(Low)レベルに分けられ、割込み型の優先権が与えられる。クロックレベル以外の処理は、B(Base)レベルで行われる。Bレベルは、第1(BQ1)、第2(BQ2)、第3(BQ3)のクラスに分けられ、この順番に非割込み型の優先権が与えられる。クロックレベルで割込まれたBレベルの仕事は、割込みの仕事が終了すると割込まれたところから再開される。

#### (2) 起動周期の管理

周期的に実行される仕事も、その内容に依って起動周期が異なる。従って、Hレベル及びBレベルで実行される仕事は図3に示すようなタイムテーブルによって起動周期の管理が行われる。タイムテーブル内の“1”は該当する仕事の実行

を意味し、1周期毎に1行内に“1”が書いてある全ての仕事の実行される。D70デジタル交換機では、1周期が4msであるから、図3の例では仕事Aが8ms周期、仕事Bが4ms周期で実行されていくことになる。

### (3) 実行管理

上記(1)と(2)を組合せて呼処理の実行管理が行われる。その模様を示したのが、図4である。プロセッサはHレベルの該当する周期の仕事を全て終了すると、順次Lレベル、Bレベルに移っていく。LレベルやBレベルの仕事を実行している途中でHレベルの仕事を開始してから4ms経過すると、プロセッサは強制的にその処理を中断し、Hレベルの処理を開始する。中断された仕事は、そのレベルの順番になると中断されたところから再開される。BQ3の仕事まで中断されずに終了するとプロセッサは次の4msの割込みまでBQ3で待機する。

## 4. 集中制御と分散制御

図5は、呼処理が集中(シングルプロセッサ)及び分散(マルチプロセッサ)の各制御方式でどのように行われるのかを示したものである。

呼処理は、入力処理(回線の状態を周期的に走査・監視

し、外部からの情報を検出する処理)、内部処理(ダイヤル数字の分析、リンク選択等の処理)及び出力処理(数字送出等外部へ情報を送出する処理)に大別される。

集中制御方式は、一台のプロセッサでこれらの全ての処理を行う。分散制御方式では、D70交換機の場合、入出力を行う信号処理装置(SGP: Signaling Processor)と内部処理を行う呼制御処理装置(CNP: Call Control Processor)に機能分散されている。さらに、SGP, CNPとも交換機の規模に応じて複数台設置され、負荷分散が行われている。

プロセッサ間の通信は、プロセッサ間通信制御装置(IPC: Inter-Processor Communication Controller)によって効率的に行われている。

分散制御方式における呼処理の実行管理は、3. で述べたようにSGP、CNPともH、L及びBレベル構成であり、Bレベルはさらに3つのクラスに分かれている。集中制御方式交換機と異なる点は、CNPがSGPから送られてくる発呼、応答等の信号イベントにより呼処理を実行するイベントマシンであること、また、呼処理に関しては複雑な多重処理を行わず、BQ2の処理が終了してからイベントを取込み、取込んだイベントの処理が終了してから次のイベントの取込みを行うシングルスレッド方式を採用していることである。

## 5. デジタル交換機のトラヒック問題

分散制御方式は、集中制御方式よりも複雑であるがゆえに検討すべき項目も多い。両制御方式について主なトラヒック問題を以下に述べる。

### (1) 共通メモリ・共通バスへのアクセス競合の影響

- ・ 共通メモリには、トランク・トランザクション等の共通リソースの状態管理表が格納されている。各 CNPがこれらの共通データの読書きを行う際には、呼処理の矛盾を防止するため使用中表示をたて、他 CNPからのアクセスを禁止する。この共通メモリアクセス競合に伴い、無効処理が増えて接続遅延時間が伸張するとともにプロセッサ使用率も増大する。

- ・ CNP,SGP,IPC 及び共通メモリが共通バスに接続されている。このため、プロセッサ間の情報の送受、共通データの読み書きのために共通バスへのアクセス競合が生じ、命令実行時間伸張によりプロセッサ使用率が増大する。

- ・ 従って、システム全体が処理できる呼数（呼処理容量）の増分はプロセッサ台数が増えるに伴い、徐々に減少し、呼処理容量はあるプロセッサ台数で飽和する。

- ・ 上記の問題の内、共通バスの競合について住田が理論的に検討しているが[(4)]、実際のシステムは共通バスと共通メモリの競合が縦列になっているため、より発展させたトラ



ヒックモデルの解析が必要である。

## (2) 共通リソースの待合せ時間特性

- ・呼処理プログラム間で情報を授受する際に用いられるトランザクションメモリや数字受信用トランク等共通リソースの待合せ時間の解析は、それらの所要設備数を算出する上で必要となる。

- ・図6に、遠隔局から親局への信号送信用のトランザクションの例を示す。このトランザクションには、使用要求が個別に到着し、トランザクション全話中の場合は周期的に再要求する待時式の使い方と、使用要求が集団的に到着し、トランザクション全話中の場合は呼損となる即時式の使い方が混在する。トランザクションは、親局から信号受信確認信号（ACK信号）が返送されると開放されるが、このACK信号の返送契機には、親局から遠隔局へいく別の信号があったときに相乗りの形で返送される場合（トランザクションの保留時間分布が指数分布に近い）とある一定時間経過したら返送される場合（トランザクションの保留時間が単位分布）との両者がある。

このトランザクションを定められた呼損率、待合せ率（又は、平均待合せ時間）の両方を考慮して算出する必要がある。

### (3) 内部処理待合せ特性

図 5 に示した呼処理実行管理では、H レベル及び B レベルのクロックレベルの仕事は周期的に処理されるが、B レベルで実行される仕事は負荷が増えるに従い待合せを生じる。この待合せ時間は、(5) で述べる接続遅延時間や各種共通リソースの保留時間に対して大きな要因となる。

この待合せ時間の解析には、優先処理、周期処理及び割込み処理を考慮する必要があるが、藤木、村尾によって近似解析がなされている[(5)]。しかしながら、この近似式を用いて得られる特性が平均命令実行時間や呼処理用プログラムのダイナミックステップ数等によって実際の特性に比べ安全側の近似となる場合と危険側の近似となる場合があり、必ずしも絶対的な評価手法とは言えない。

### (4) プロセッサ使用率特性

- SGP、CNP 及び IPC の処理呼数に対する使用率特性である。

- (1) で述べた共通メモリ・共通バスへのアクセス競合の影響の他に、IPC が効率よく負荷バランスを行っているかどうかを明らかにする必要がある。特に、CNP の内 1 台は MCP (Master CNP) として呼処理以外にトラヒックデータの収集等を行っているため、プロセッサ使用率の特性が異なる。IPC に

よる負荷分散機能によりこの使用率の差分をどの程度吸収し、プロセッサ使用率の増加に伴って伸張する各種待合せ時間に与える影響をどの程度抑止できるかを明らかにする必要がある。

#### (5) 接続遅延時間特性

- ・ 接続遅延時間とは、例えば加入者が受話器を上げてから発信音を送出され、ダイヤル数字の受信が可能となるまでの時間（発信音接続遅延時間）や全ダイヤル数字を受信してから加入者に呼出音を送出するまでの時間（自動接続遅延時間）を言う。

- ・ 接続遅延時間には利用者へのサービス品質上守らなければならない上限値があり、これから各プロセッサ及びプロセッサの一部障害を考慮した交換機全体の呼処理容量が決定されるのでその解析は重要である。

#### (6) 過負荷制御法

- ・ 交換機内に呼を無制限に受け付けると共通リソースの待合せ等により無効処理が増大し、スループットが低下する。その防止には、交換機内の輻輳の状態により入口で効果的に呼を規制する過負荷制御が必要である。

- ・ 特に、分散制御方式ではプロセッサ相互間での輻輳の波及を防止することが重要である。又、特定のプロセッサの輻

棲をどのように検出し、どのように制御するか等集中制御方式にはなかった現象の解析が必要となる。

## 6. むすび

交換機の呼処理方式を概説し、ディジタル交換機制御系のトラヒック問題を紹介した。紙面の都合により詳細に説明できなかったが、呼処理の詳細については文献[(6)]を参考されると良いと思う。本稿により、交換機のトラヒック問題に興味を持たれ、解析を試みようとするトラヒック研究者が一人でも増えれば幸いである。

なお、著者等は上記トラヒック問題の解決を含め、通信処理装置や通信網のトラヒック評価・設計の効率化を目的としてトラヒック評価・設計支援システムTEDASの開発を試みている[(6)]。厳密な理論解析、待行列網理論等を用いた近似解析及びシミュレーションによる解析等あらゆる分野でのトラヒック解析手法を効率良く組合せたシステムにしたいと考えており、各大学で基礎研究をされている研究者の方々から有益な御意見を戴ければ幸いである。

## [参考文献]

- (1) 池田他：ディジタル中継線交換機の方式構成、通研実報

Vol.31, No.5, pp.889-898(1982)

- (2) 安井他：ディジタル加入者線交換機の方式構成、通研実報 Vol.31, No.11, pp.1975-1985(1982)
- (3) 電子通信学会：電子通信工学概論、電子通信学会編 (1978)
- (4) 住田修一：非割込み優先権のある共通メモリアクセス競合の解析、信学論(B), J68-B, 1, pp.1-8(1985)
- (5) M.Fujiki and Y.Murao: Queueing model with regular service interruptions, 8th ITC, No.232(1976)
- (6) たとえば、  
日本電信電話公社：ディジタル交換機、電気通信共済会発行(1984)
- (7) 戸田彰：トラヒック評価・設計支援システムTEDASの基本構想、昭和60年度電子通信学会総合全国大会 No.S16-4 (1985)

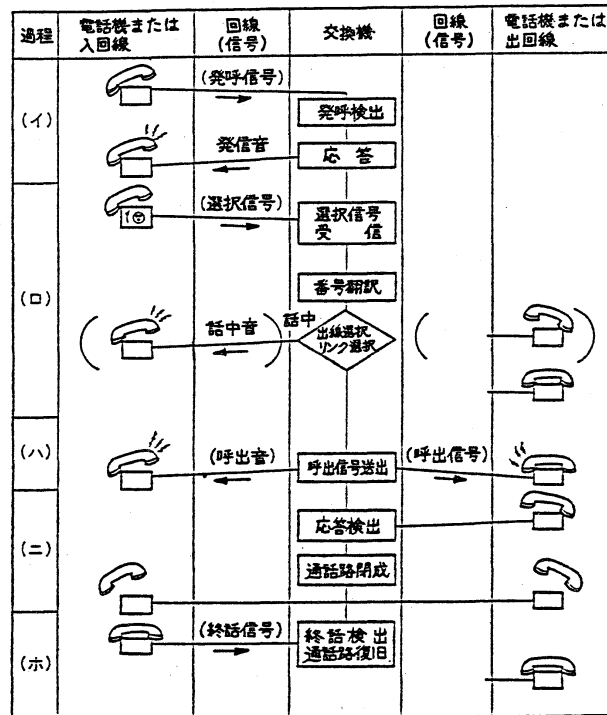
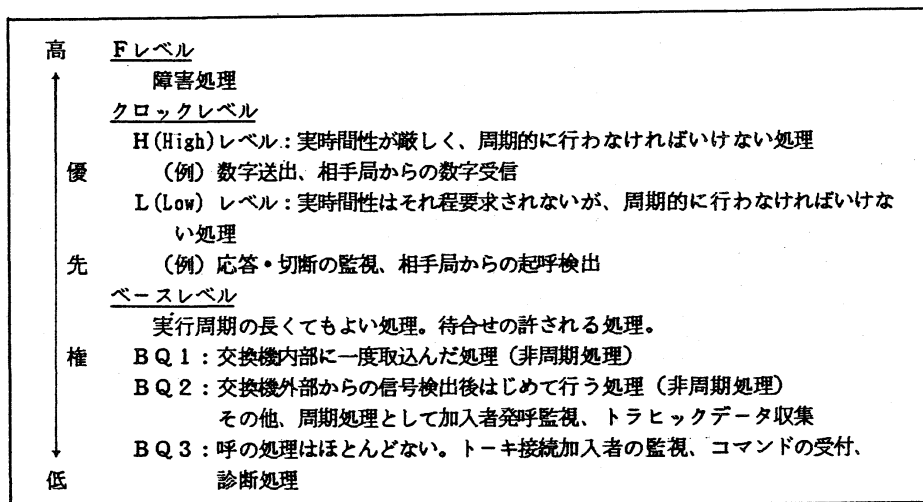
図1. 交換機の機能<sup>(3)</sup>

図2. 処理のレベル分け

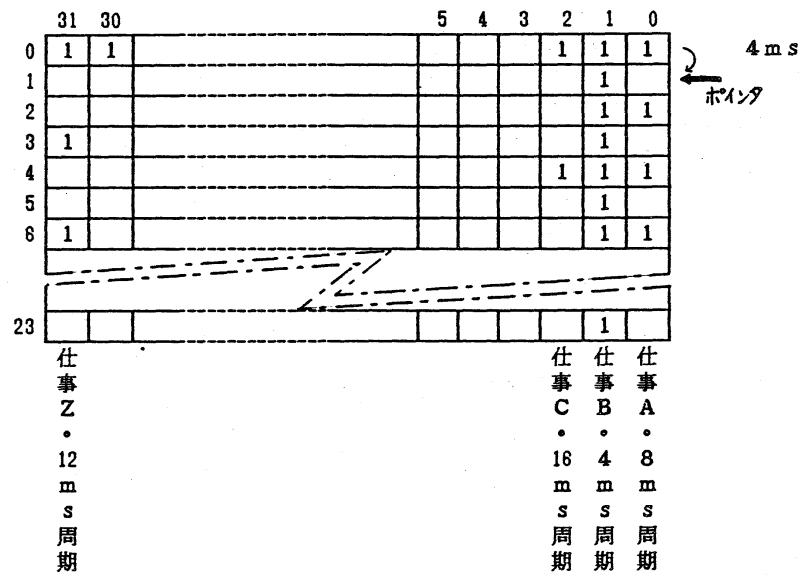


図3．処理の時間管理用タイムテーブルの例

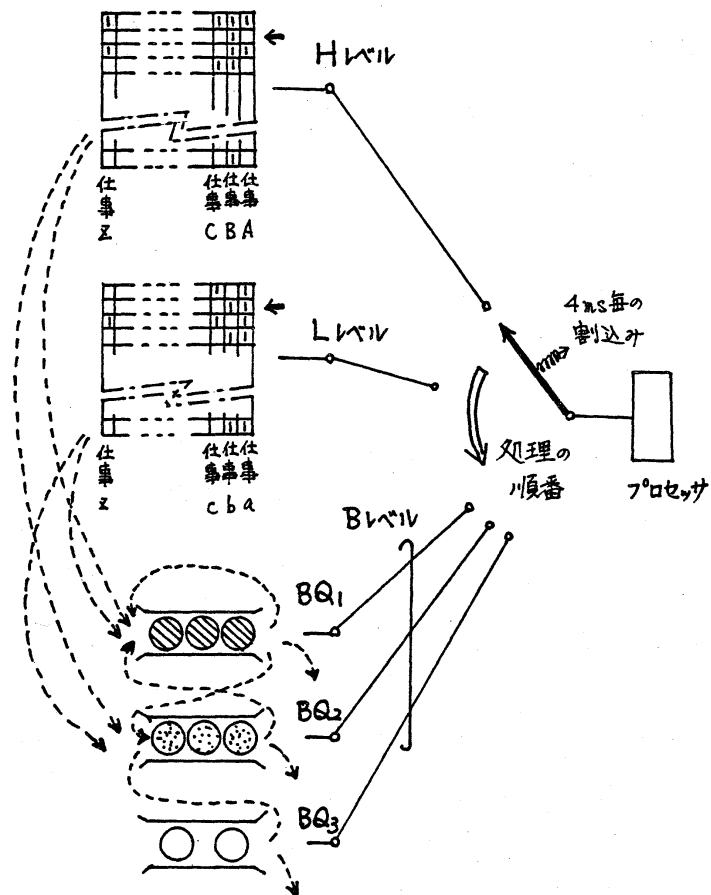


図4．呼処理の実行管理

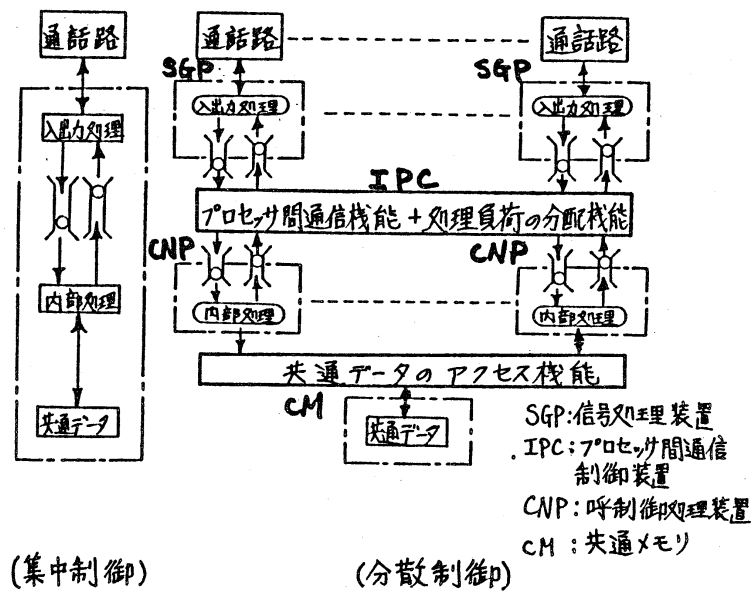


図5. 集中制御方式と分散制御方式

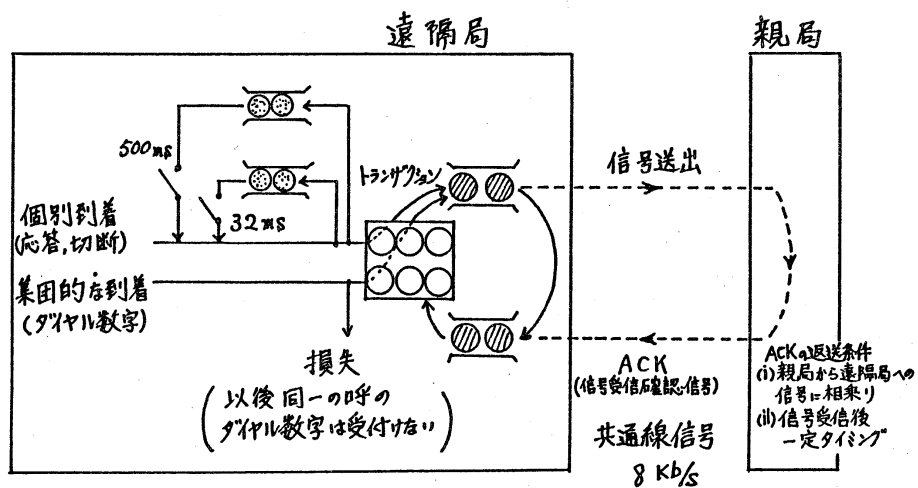


図6. トランザクション待合せの例 (遠隔局→親局信号送出用トランザクション)